

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

28. 6. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 4月21日

出願番号
Application Number: 特願2003-115333
[ST. 10/C]: [JP 2003-115333]

REC'D 22 JUL 2004

WIPO

PCT

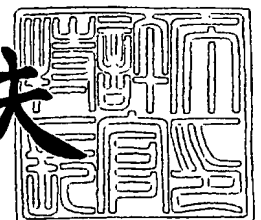
出願人
Applicant(s): 帝人株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月21日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 P36851

【提出日】 平成15年 4月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01N 29/18
A61M 16/10

【発明者】

【住所又は居所】 東京都日野市旭が丘4丁目3番2号 帝人株式会社 東京研究センター内

【氏名】 藤本 直登志

【特許出願人】

【識別番号】 000003001

【氏名又は名称】 帝人株式会社

【代理人】

【識別番号】 100099678

【弁理士】

【氏名又は名称】 三原 秀子

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 206048

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0203001

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 超音波式ガス濃度流量測定方法および装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 サンプルガスの流れる配管中に、対向させて配置した 2 つの超音波振動子、受信超音波のゼロクロス時間検出手段、温度センサを具備したサンプルガス濃度及び／又は流量を測定する超音波式ガス濃度流量測定装置において、該ゼロクロス時間検出手段がサンプルガスの流れに対して順逆双方向に送受信された超音波の受信波形から 2 つ以上の連続したゼロクロス時間を検出し、検出結果から順逆双方向にて得られた各々のゼロクロス時間のトリガ位置を揃え、該トリガ位置の揃ったゼロクロス時間の平均値から静止サンプルガス中にて超音波の送受信を実施した際に得られるゼロクロス時間を推定し、該温度センサの出力を元に真の超音波伝播時間の取り得る範囲を導き出し、該超音波伝播時間の取り得る範囲に入るまで、推定された静止サンプルガス中における該ゼロクロス時間から受信超音波の 1 周期分の時間を整数倍巻き戻すことによって真の超音波伝播時間を演算する演算手段を備えることを特徴とする超音波式ガス濃度流量測定装置。

【請求項 2】 サンプルガスの濃度範囲および温度範囲に基づいて、該サンプルガス中で超音波の送受信を実施した際に得られる真の超音波伝播時間の取り得る範囲の幅が受信超音波の 1 周期分の時間未満になる様に該超音波振動子の間の距離が設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載の超音波式ガス濃度流量測定装置。

【請求項 3】 該超音波振動子の間の距離 (L) が、次式を満たすことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の超音波式ガス濃度流量測定装置。

$$L / C_{\min}(T_{\min}) - L / C_{\max}(T_{\min}) < 1 / f_r$$

但し、

$C_{\min}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} ℃において、サンプルガスの濃度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の下限値 [m/sec]

$C_{\max}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} ℃において、サンプルガスの濃

度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の上限値[m/sec]

f_r : サンプルガス中を伝播する超音波の受信周波数[Hz]

【請求項 4】 該演算手段が、該トリガ位置の揃ったゼロクロス時間の差を求め、請求項 1 に記載の装置にて獲得された静止サンプルガス中の超音波伝播時間と該ゼロクロス時間の差からサンプルガスの流れに対して順逆双方向での音速の差を求めることにより、受信超音波の波形情報を得ることなく、サンプルガスの流量を演算する手段であることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の超音波式ガス濃度流量測定装置。

【請求項 5】 該配管の内半径が、サンプルガスの濃度範囲、温度範囲、および流量範囲に基づいて、サンプルガスの流れに対して順逆双方向にて得られる超音波伝播時間の差が、受信超音波の 1 周期分の時間未満になるように設定することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の超音波式ガス濃度流量測定装置。

【請求項 6】 該配管の内半径(r)が下記式の条件を満たすことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の超音波式ガス濃度流量測定装置。

$$L / (C_{\min}(T_{\min}) - Q_{\max} / (60000 \pi r^2)) - L / (C_{\min}(T_{\min}) + Q_{\max} / (60000 \pi r^2)) < 1 / f_r$$

但し、

$C_{\min}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} °C において、サンプルガスの濃度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の下限値[m/sec]

Q_{\max} : サンプルガスの流量上限値[L/min]

f_r : サンプルガス中を伝播する超音波の受信周波数[Hz]

【請求項 7】 サンプルガスの流れに対して順逆双方向に送受信された超音波の受信波形から 2 つ以上の連続したゼロクロス時間を検出し、順逆双方向にて得られた各々のゼロクロス時間のトリガ位置を揃えるステップ、該トリガ位置の揃ったゼロクロス時間の平均値から静止サンプルガス中にて超音波の送受信を実施した際に得られるゼロクロス時間を推定するステップ、該サンプルガスの温度

を元に真の超音波伝播時間の取り得る範囲を導き出し、該超音波伝播時間の取り得る範囲に入るまで、推定された静止サンプルガス中における該ゼロクロス時間から受信超音波の1周期分の時間を整数倍巻き戻すことによって真の超音波伝播時間を演算するステップを有することを特徴とする、受信超音波の波形情報を得ることなくサンプルガスの濃度を測定する超音波式ガス濃度流量測定方法。

【請求項8】 サンプルガスの濃度範囲および温度範囲に基づいて、該サンプルガス中で超音波の送受信を実施した際に得られる真の超音波伝播時間の取り得る範囲の幅が、受信超音波の1周期分の時間未満になるよう、超音波振動子間距離を設定することを特徴とする請求項7に記載の超音波式ガス濃度流量測定方法。

【請求項9】 該超音波振動子間距離を設定する方法として、次式を満たす距離 L を選定することを特徴とする請求項8に記載の超音波式ガス濃度流量測定方法。

$$L / C_{\min}(T_{\min}) - L / C_{\max}(T_{\min}) < 1/fr$$

但し、

$C_{\min}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} ℃において、サンプルガスの濃度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の下限値[m/sec]

$C_{\max}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} ℃において、サンプルガスの濃度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の上限値[m/sec]

fr : サンプルガス中を伝播する超音波の受信周波数[Hz]

【請求項10】 サンプルガスの流れに対して順逆双方向に送受信された超音波の受信波形から2つ以上の連続したゼロクロス時間を検出し、順逆双方向にて得られた各々のゼロクロス時間のトリガ位置を揃え、該トリガ位置の揃ったゼロクロス時間の差を求め、請求項8に記載の方法にて獲得された静止サンプルガス中の超音波伝播時間と該ゼロクロス時間の差からサンプルガスの流れに対して順逆双方向での音速の差を求めることにより、受信超音波の波形情報を得ることなく、サンプルガスの流量を測定することを特徴とする請求項8に記載の超音波

式ガス濃度流量測定方法。

【請求項 11】 サンプルガスの流れに対して順逆双方向にて得られる超音波伝播時間の差が、受信超音波の 1 周期分の時間未満になるよう、サンプルガスの濃度範囲、温度範囲、および流量範囲に基づいて、サンプルガスの流れる配管の内半径を設定することにより、ゼロクロス時間のトリガ位置を揃えることを特徴とする請求項 8～10 のいずれか 1 項に記載の超音波式ガス濃度流量測定方法。

【請求項 12】 該サンプルガスの流れる配管の内半径を設定する方法として、次式を満たす内半径 (r) を選定することを特徴とする請求項 8～11 のいずれか 1 項に記載の超音波式ガス濃度流量測定方法。

$$L / (C_{\min}(T_{\min}) - Q_{\max} / (60000 \pi r^2)) - L / (C_{\min}(T_{\min}) + Q_{\max} / (60000 \pi r^2)) < 1 / fr$$

但し、

$C_{\min}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} ℃において、サンプルガスの濃度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の下限値[m/sec]

Q_{\max} : サンプルガスの流量上限値[L/min]

fr : サンプルガス中を伝播する超音波の受信周波数[Hz]

【請求項 13】 サンプルガスの流れる配管中に、対向させて配置した 2 つの超音波振動子、受信超音波のゼロクロス時間検出手段、温度センサを具備したサンプルガス濃度及び／又は流量を測定する超音波式ガス濃度流量測定装置において、該超音波振動子の間の距離 (L) が、次式を満たすように設置されていることを特徴とする超音波式ガス濃度流量測定装置。

$$L / C_{\min}(T_{\min}) - L / C_{\max}(T_{\min}) < 1 / fr$$

但し、

$C_{\min}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} ℃において、サンプルガスの濃度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の下限値[m/sec]

$C_{\max}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} ℃において、サンプルガスの濃

度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の
上限値[m/sec]

fr: サンプルガス中を伝播する超音波の受信周波数[Hz]

【請求項14】 該配管の内半径(r)が下記式の条件を満たすことを特徴とする請求項13に記載の超音波式ガス濃度流量測定装置。

$$L/(C_{\min}(T_{\min}) - Q_{\max}/(60000\pi r^2)) - L/(C_{\min}(T_{\min}) + Q_{\max}/(60000\pi r^2)) < 1/fr$$

但し、

$C_{\min}(T_{\min})$: サンプルガスの温度下限値 T_{\min} °Cにおいて、サンプルガスの濃度範囲から計算される静止サンプルガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の
下限値[m/sec]

Q_{\max} : サンプルガスの流量上限値[L/min]

fr: サンプルガス中を伝播する超音波の受信周波数[Hz]

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、超音波により、サンプルガスの濃度及び流量を測定する装置に関するものである。さらに詳細には、例えば医療目的で使用する酸素濃縮器から送り出されたサンプルガス中の酸素濃度、流量の測定に適する装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

サンプルガス中を伝播する超音波の伝播速度は、サンプルガスの濃度、温度の関数として表されることが広く知られている。サンプルガスの平均分子量をM、温度をT[K]とすれば、サンプルガス中の超音波伝播速度C[m/sec]は、次式で表される。

【0003】

【数 1】

$$C = \sqrt{\frac{kRT}{M}}$$

【0004】

ここで、 k 、 R は定数（ k ：定積モル比熱と定圧モル比熱の比、 R ：気体定数）である。すなわち、サンプルガス中の超音波伝播速度 C 〔m/sec〕とサンプルガスの温度 T 〔K〕が測定できれば、サンプルガスの平均分子量 M を決定できる。該サンプルガスが、例えば酸素と窒素の2分子からなるガスであれば、 $k = 1.4$ となることが知られている。該サンプルガスの平均分子量 M は、酸素の分子量を32、窒素の分子量を28として、例えば酸素 $100 \times P$ 〔%〕（ $0 \leq P \leq 1$ ）と窒素 $100 \times (1-P)$ 〔%〕の場合においては、 $M = 32P + 28(1-P)$ と記述することができ、測定された平均分子量 M から酸素濃度 P を決定できる。また、サンプルガス中の超音波伝播速度が C 〔m/sec〕、サンプルガスの流速が V 〔m/sec〕であったとき、サンプルガスの流れに対して順方向に超音波を送信したときに測定される超音波伝播速度 V_1 〔m/sec〕は、 $V_1 = C + V$ 、逆方向に超音波を送信したときに測定される超音波伝播速度 V_2 〔m/sec〕は、 $V_2 = C - V$ となるので、サンプルガスの流速 V 〔m/sec〕は、次式2で求めることができる。

【0005】

【数 2】

$$V = \frac{V_1 - V_2}{2}$$

【0006】

これにサンプルガスの流れている配管の内面積〔m²〕を乗じることで、サンプルガスの流量〔m³/sec〕を求めることができる。さらに体積換算、時間換算を行えば、流量を〔L/min〕で求めることも容易である。該原理を利用し、サンプルガス中を伝播する超音波の伝播速度もしくは伝播時間からサンプルガスの濃度、流量を測定する方法及び装置に関しては、種々の提案が行われている。たとえば、特開

平6-213877号公報には、サンプルガスが通る配管中に超音波振動子2つを対向させて配置し、該超音波振動子間を伝播する超音波の伝播時間を計測することによってサンプルガスの濃度及び流量を測定する装置が記載されている。また、特開平7-209265号公報や特開平8-233718号公報には、超音波振動子1つを使用した音波反射方式でセンシングエリア内を伝播する超音波の伝播速度もしくは伝播時間を測定することにより、サンプルガスの濃度を測定する装置が記載されている。

【0007】

【特許文献1】

特開平6-213877号公報

【特許文献2】

特開平7-209265号公報

【特許文献3】

特開平8-233718号公報

【特許文献4】

特開平9-318644号公報

【特許文献5】

特開昭60-138422号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

このような超音波の伝播速度を用いてサンプルガスの濃度および流量を正確に測定する方法および装置においては、超音波の伝播時間を正確に検出しなければならない。しかしながら、超音波の受信波形には常にノイズ成分が含まれており、超音波を受信した瞬間の時間を直接検出することは非常に困難であり、一般的に複雑な信号処理手法や、複雑なハードウェアを搭載することにより、超音波伝播時間を推定する方法が用いられている。たとえば、特開平9-318644号公報には、受信された超音波波形を積分し、その積分出力が基準値に達したのちにおける受信波のゼロクロス時間を流速測定のための超音波伝播時間とする方法が記載されている。該方法により、受信波形の振幅が多少変動したとしてもゼロクロス

のタイミングが変動しないため、受信波の到達時間に比較的近い位置でのゼロクロス時間を獲得できるが、残念ながら獲得されるゼロクロス時間は真の超音波伝播時間ではなく、とりわけ濃度測定においては真の超音波伝播時間と検出されたゼロクロス時間との差異が測定誤差に大きく影響する。また、たとえば特開昭60-138422号公報には、受信波形の包絡線波形から算出された近似式に基づいて包絡線波形の立ち上がり時間を検出し、真の超音波伝播時間とする方法が記載されている。しかしながら、包絡線波形から超音波伝播時間を推定する方法においては、包絡線波形を得るために受信波形をサンプリングするためのハードウェアを必要とし、また、包絡線を計算するために複雑な信号処理を必要とするため、安価で小型の装置を作成することが困難であった。

【0009】

本発明は、複雑な信号処理やハードウェアを必要とせずにサンプルガスの濃度および流量を測定する方法、および、必要最小限の部品のみを用いることで安価かつ小型の超音波式ガス濃度流量測定装置を提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、かかる目的を達成するために鋭意研究した結果、サンプルガスの流れる配管中に、対向させて配置した超音波振動子2つ、受信超音波のゼロクロス時間検出回路、温度センサを具備する超音波式ガス濃度流量測定方法および装置において、サンプルガスの取り得る濃度範囲、および、温度範囲から、サンプルガス中を伝播する超音波の音速の取り得る範囲を事前に知ることによって好適な超音波振動子間距離を設定し、さらに、サンプルガスの取り得る流量範囲から好適な配管内半径を設定すれば、サンプルガス温度と連続した2つ以上のゼロクロス時間のみを検出することで、受信超音波の波形情報を獲得することなく、静止サンプルガス中における超音波伝播時間、および、サンプルガスの流れに対し順逆双方向での超音波伝播時間差を正確に検出でき、サンプルガスの濃度、および流量を測定することができることを見出したものである。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下に実施例を示す。本実施例においては、酸素と窒素の2分子からなるサンプルガスの、酸素濃度と流量を測定する方法および装置に関して示す。さらに、本実施例では、サンプルガスの酸素濃度範囲が0[%O₂]~100[%O₂]、流量範囲が0~10[L/min]であり、また、サンプルガスの温度範囲は、5[°C]~35[°C]である場合に関して示す。また、本実施例では、中心周波数が40[kHz]の超音波振動子を使用する。本発明によって測定できるサンプルガスは、本実施例に示す酸素と窒素からなるサンプルガスだけに限定されるものではなく、他の分子によって構成されるガスに対しても容易に適用できる。また、サンプルガスの取り得る濃度範囲、温度範囲も本実施例における範囲に限定されるものではなく、他の範囲においても容易に適用できる。さらに、超音波振動子の中心周波数も40[kHz]に限定されるものではなく、他の中心周波数を持つ超音波振動子に対しても容易に適用できる。

【0012】

超音波式酸素濃度流量測定手段の構成は図1に示すとおりである。サンプルガスの流れる配管1の中に2つの超音波振動子2を対向させて配置し、該超音波振動子2の送受信を切り替える切り替え器4、該超音波振動子2に超音波送信パルスを送るドライバ5、超音波受信波形のゼロクロス時間を検出するゼロクロス時間検出回路6、サンプルガスの濃度、流量を算出するためのマイクロコンピュータ7、及び、配管1の中にサンプルガスの温度を測定する温度センサ3を備える。

【0013】

超音波の送受信により、受信超音波のゼロクロス時間を検出する方法は各種提案されている。最も簡便な方法は、ゼロクロスコンパレータを搭載し、コンパレータ出力の立ち上がりエッジ、もしくは、立ち下りエッジを検出するものである。図2に超音波受信波形の一例を示す。超音波の受信波形には各種ノイズ成分が含まれるため、正確にゼロクロス時間を検出するためには、受信振幅が十分大きくなったところにてゼロクロスコンパレータの出力を獲得することが望ましい。すなわち、獲得されるゼロクロス時間は受信超音波の第一波目ではなく、それ以降の例えば第3波目や、第4波目にて得られることになる。図3に、本実施例でのゼロクロス時間検出回路6におけるゼロクロス時間検出方法を示す。ゼロクロス

検出回路 6 には、ノイズレベルよりも十分大きい電圧値にて受信波形の存在を検出するためのトリガコンパレータ、および、トリガコンパレータの出力が発生した時間（図 3 中のトリガ検出位置）以降のゼロクロス時間を検出できるゼロクロスコンパレータを含む。獲得するゼロクロス時間は 1 点ではなく、連続した数点を取ることが望ましい。本実施例においては、連続した 3 点のゼロクロス時間（図 3 中の Zc1、Zc2、Zc3）を獲得することとした。

【0014】

受信超音波のゼロクロス間隔は、常に中心周波数から計算される 1 周期分の時間間隔となるはずである。中心周波数 40[kHz] の超音波振動子を用いる場合の 1 周期分の時間は、 $1/40000[\text{sec}] = 25[\mu\text{sec}]$ となる。すなわち、ゼロクロス検出回路 6 にて得られた先頭のゼロクロス時間は超音波受信時間そのものではないが、該ゼロクロス時間から $25[\mu\text{sec}]$ の整数倍を巻き戻した時間のいずれかに真の超音波受信時間が存在することになる。

【0015】

すなわち、獲得されたゼロクロス時間が第何波目以降のゼロクロス時間であるか不明であっても、先述の超音波伝播時間の取り得る範囲内に、該ゼロクロス時間から 1 周期の整数倍だけ巻き戻して得られる時間が常に 1 つだけ存在する振動子間距離 L を設定することで、容易に真の超音波伝播時間を推定できることになる。

【0016】

以下、超音波振動子間の距離を好適に設定する方法に関して示す。サンプルガスの濃度範囲が既知であれば、各温度での流速ゼロにおけるサンプルガス中を伝播する音速の範囲は、式 1 を用いて容易に計算できる。酸素の分子量を 32、窒素の分子量を 28 とすれば、例えば、温度 20℃ の場合において、酸素濃度 0% の場合の音速は式 1 より、 $349.1[\text{m/sec}]$ となり、酸素濃度 100% の場合の音速は、 $326.6[\text{m/sec}]$ と計算される。すなわち、サンプルガスの酸素濃度が変化した場合において、20℃ におけるサンプルガス中の音速は、常に $324.6[\text{m/sec}] \sim 349.1[\text{m/sec}]$ の範囲に収まることになり、該範囲の両端を音速の上限、下限とする。サンプルガス温度の取り得る範囲である 5℃～35℃ において計算される、温度と音速の関係を

グラフ化したものを、図4に示す。図4にて明らかなように、音速Cの上限、下限は温度Tの関数として表すことができ、温度Tにおける音速の上限を $C_{\max}(T)$ 、下限を $C_{\min}(T)$ とする。

【0017】

次に好適にしたい振動子間距離を L_s [m]とする。音速の取り得る範囲が先述の通りあらかじめ分かっているため、超音波伝播時間の取り得る範囲は、 L_s を用いて表すことができる。すなわち超音波伝播時間の取り得る範囲は、 $L_s/C_{\max}(T)$ [sec] \sim $L_s/C_{\min}(T)$ [sec]である。

【0018】

該超音波伝播時間の取り得る範囲に、ゼロクロス時間検出回路6にて得られる該ゼロクロス時間から1周期の整数倍だけ巻き戻して得られる時間が常に1つだけにするためには、伝播時間の取り得る範囲が超音波の1周期分の時間未満であれば良い(図9)。超音波の周波数を fr [Hz]とすれば、1周期の時間は $1/fr$ [sec]となる。すなわち、下記式3を常に満たす L_s を選定すれば良い。

【0019】

【数3】

$$L_s / C_{\min}(T) - L_s / C_{\max}(T) < 1/fr$$

【0020】

“ $L_s / C_{\min}(T) - L_s / C_{\max}(T)$ ”の値を最大にする温度Tは、本実施例においてはサンプルガスの温度範囲下限の5℃である。5℃における $C_{\max}(5℃)$ 、 $C_{\min}(5℃)$ はそれぞれ、 $C_{\max}(5℃)=340.1$ [m/sec]、 $C_{\min}(5℃)=318.1$ [m/sec]となる。さらに、本実施例における超音波の周波数 fr は、 $fr=40$ [kHz]=40000[Hz]であるため、式3を満たす振動子間距離 L_s は、 $L_s < 12.3$ [cm]となり、およそ12[cm]未満の振動子間距離となるように2つの超音波振動子2を設置すれば良いことになる。本実施例においては、振動子間距離として10[cm]を採用した。

【0021】

流量を測定するためには、サンプルガスの流れに対して、順逆双方向に超音波送受信を実施し、双方でのゼロクロス時間を必要とする。順逆双方にて得られる

ゼロクロス時間が、常に同じトリガ位置にて獲得されたものであれば、図5に示すとおり、ゼロクロス時間の間隔（図5中のAの間隔）＝超音波の伝播時間差（図5中の t_d ）となり得る。しかしながら、超音波の受信波形は順逆双方向で全く同一になる保証はなく、ゼロクロス検出回路6内のトリガコンパレータで検出されるトリガ位置が順逆にてずれる可能性がある。そこで、順逆双方向にて得られる超音波の伝播時間差 t_d が、常に受信超音波の1周期分未満の時間となるようにサンプルガスの流れる配管1の内半径を設定すれば、トリガ位置が順逆にてずれた場合においても容易にトリガ位置合わせが可能となる。例えば、サンプルガスの流れに対して順方向に超音波送受信を実施して得られたトリガ位置に対し、逆方向に超音波送受信した場合に得られたトリガ位置が1周期分だけ前方であった場合を図6に示す。順逆にてトリガ位置が揃っていたと仮定してゼロクロス時間の差を計算すると、その値は負の値となる（図6中のA）。サンプルガスの流量範囲が0～10[L/min]であれば、伝播時間の差が負になることはありえないため、容易にトリガがずれていたことを検出でき、図6中のBを真の伝播時間差として採択することが可能となる。逆に、サンプルガスの流れに対して順方向に超音波送受信を実施して得られたトリガ位置に対し、逆方向に超音波送受信した場合に得られたトリガ位置が1周期分だけ後方であった場合を図7に示す。順逆にてトリガ位置が揃っていたと仮定してゼロクロス時間の差を計算すると、その値は超音波の1周期分の時間を上回る値となる（図7中のA）。しかしながら、超音波の伝播時間差 t_d が、常に受信超音波の1周期分未満の時間となるように設計されていれば、伝播時間の差が受信超音波の1周期分以上になることはありえないため、この場合も容易にトリガがずれていたことを検出でき、図7中のBを真の伝播時間差として採択することが可能となる。

【0022】

以下、サンプルガスの流れる配管1の内半径を好適に設定する方法に関して示す。サンプルガスの流量を Q [L/min]とすれば、サンプルガスの流れる配管1の内半径を r [m]とした場合、該配管1中の流速 V [m/sec]は、次の式4の範囲にて表される。

【0023】

【数4】

$$0 \leq V \leq Q/(60000 \pi r^2)$$

【0024】

サンプルガスの流れに対して順方向に超音波を送信した場合に観測される音速 V_1 [m/sec] は、サンプルガスが静止している場合の音速を C [m/sec] とし、 $V_1 = C + V$ 、また、サンプルガスの流れに対して逆方向に超音波を送信した場合に観測される音速 V_2 [m/sec] は、 $V_2 = C - V$ 、として観測される。サンプルガスの流れに対して順逆双方向に超音波送受信を実施した際に観測される伝播時間の差を t_d [sec] とすると、 t_d は振動子間距離を L_s [m] とし、式5で表すことができる。

【0025】

【数5】

$$\begin{aligned} t_d &= L_s / V_2 - L_s / V_1 \\ &= L_s / (C - V) - L_s / (C + V) \end{aligned}$$

【0026】

したがって、伝播時間の差 t_d が常に受信超音波の1周期分未満の時間となるようにするためには、常に式6を満たす内半径 r を選定すれば良い。

【0027】

【数6】

$$L_s / (C - Q / (60000 \pi r^2)) - L_s / (C + Q / (60000 \pi r^2)) < 1 / f_r$$

【0028】

本実施例において、式6の左項を最大とする C 、 Q の条件は、 $C = C_{\min}(5^\circ\text{C}) = 318.1$ [m/sec]、 $Q = 10$ [LPM] である。さらに、振動子間距離 $L_s = 10$ [cm] = 0.1 [m]、超音波の周波数 $f_r = 40$ [kHz] = 40000 [Hz] を式6に代入すると、 $r > 2.05$ [mm] となり、配管1の内半径が 2.05 [mm] を上回るようにすれば良いことになる。本実施例においては、配管1の内半径として 2.5 [mm] を採用した。

【0029】

以下、本実施例におけるサンプルガスの酸素濃度、および、流量測定方法に関して述べる。サンプルガス投入中において、マイクロコンピュータ7より超音波の送信パルスを送信ドライバ5に送り、送受信切り替え器4によってサンプルガスの流れと順方向に超音波を送信するように選択された超音波振動子2にパルス電圧が印加され、超音波が送信される。もう一方の超音波振動子2によって受信された超音波は、送受信切り替え器4を介して、ゼロクロス検出回路6に入力され、得られたゼロクロス時間3つ（ZcF1、ZcF2、ZcF3）をマイクロコンピュータ7に送る。その後、マイクロコンピュータ7より超音波の送信パルスを送信ドライバ5に送り、送受信切り替え器4によってサンプルガスの流れと逆方向に超音波を送信するように選択された超音波振動子2にパルス電圧が印加され、超音波が送信される。もう一方の超音波振動子2によって受信された超音波は、送受信切り替え器4を介して、ゼロクロス検出回路6に入力され、得られたゼロクロス時間3つ（ZcB1、ZcB2、ZcB3）をマイクロコンピュータ7に送る。

【0030】

以上の操作によってサンプルガスの流れに対して順逆双方向にて得られたゼロクロス時間から、図5～図7に示した方法により、トリガ位置のズレを補正して超音波の伝播時間の差 t_d を算出する。 t_d の算出には、図5中に示されたAの値、もしくは、図6、図7中に示されたBの値を加算平均することで、時間検出誤差を減少させることが可能である。さらに、順逆双方向での超音波送受信にて得られるゼロクロス時間のトリガ位置を揃えた最初のゼロクロス時間の平均 Zc_ave を算出する。 Zc_ave は、サンプルガスの流量がゼロの時に超音波送受信を行った際に得られるゼロクロス時間であると見なすことができる。例えば図5に示した状態であれば、 Zc_ave は次の式7で求めることができる（図8）。

【0031】

【数7】

$$Zc_ave = (ZcF1 + ZcB1) / 2$$

【0032】

同様に図6に示した状態であれば、式8にて求めることができる（図示せず）。

【0033】

【数8】

$$Z_{c_ave} = (Z_{cF1} + Z_{cB2}) / 2$$

【0034】

更に図7に示した状態であれば、式9にて求めることができる（図示せず）。

【0035】

【数9】

$$Z_{c_ave} = (Z_{cF2} + Z_{cB1}) / 2$$

【0036】

続いて、マイクロコンピュータ7は、2つの超音波振動子間の距離を L_s [m]とし（本実施例においては、 $L_s=0.1$ [m]）、温度センサ3の出力 T [°C]を読み取り、サンプルガスの温度 T [°C]に応じた超音波伝播時間の範囲 $L_s/C_{\max}(T)$ [sec]～ $L_s/C_{\min}(T)$ [sec]を計算する。さらに、該ゼロクロス時間の平均 Z_{c_ave} から該超音波伝播時間の範囲に入るまで、受信超音波の1周期分の時間 $=25[\mu\text{sec}]$ の整数倍を巻き戻していき、超音波伝播時間 t_s [sec]を確定する（図9）。この結果より、静止したサンプルガス中の超音波伝播速度 C_s [m/sec]は次式10にて求めることができる。

【0037】

【数10】

$$C_s = L_s / t_s$$

【0038】

ここで、酸素の分子量を M_{O_2} 、窒素の分子量を M_{N_2} 、温度センサ出力の T [°C]を単位変換して T_s [K]とし、求めたい酸素濃度を P_s として式1を変形すると、次式が得られる。

【0039】

【数 1 1】

$$P_s = \frac{\frac{kRT_s}{C_s^2} - M_{N_2}}{M_{O_2} - M_{N_2}}$$

【0040】

式11より、サンプルガスの酸素濃度は $100 \times P_s [\%]$ として測定できる。もしくは、サンプルガスの酸素濃度は、サンプルガス中の超音波伝播速度と、酸素100%、窒素100%のガス中の超音波伝播速度の比として求めることも可能である。すなわち、式1を用いれば温度 $T_s [K]$ における酸素100%中の超音波伝播速度 $C_{O_2} [m/sec]$ 、窒素100%中の超音波伝播速度 $C_{N_2} [m/sec]$ は容易に求めることができ、サンプルガス中の超音波伝播速度 $C_s [m/sec]$ を使い、以下の式12によっても、 P_s を計算できる。

【0041】

【数 1 2】

$$P_s = \frac{\frac{1}{C_s^2} - \frac{1}{C_{N_2}^2}}{\frac{1}{C_{O_2}^2} - \frac{1}{C_{N_2}^2}}$$

【0042】

上記の計算は、マイクロコンピュータ7にて実施され、濃度測定結果は表示器8に表示される。

【0043】

流量測定時には、先に求めた静止したサンプルガス中の超音波伝播時間 t_s と、超音波伝播時間差 t_d を用いて、サンプルガスの流れに対して順方向に超音波の送受信を実施した際の超音波伝播時間 t_{s1} 、逆方向に超音波の送受信を実施した際の超音波伝播時間 t_{s2} を式13、式14によって求める。

【0044】

【数 1 3】

$$t_{s1} = t_s - t_d / 2$$

【0 0 4 5】

【数 1 4】

$$t_{s2} = t_s + t_d / 2$$

【0 0 4 6】

すなわち、サンプルガスの流れに対して順方向に超音波を送信したときに測定される超音波伝播速度 V_{s1} [m/sec]、逆方向に超音波を送信したときに測定される超音波伝播速度 V_{s2} [m/sec]は、それぞれ次式によって求めることができる。

【0 0 4 7】

【数 1 5】

$$V_{s1} = L_s / t_{s1}$$

【0 0 4 8】

【数 1 6】

$$V_{s2} = L_s / t_{s2}$$

【0 0 4 9】

さらに、式 2 より、サンプルガスの流速 V_s [m/sec]は次式で求めることができる。

【0 0 5 0】

【数 1 7】

$$V_s = \frac{V_{s1} - V_{s2}}{2}$$

【0 0 5 1】

流速 V_s [m/sec]が求めれば、サンプルガスの流れる配管 1 の内半径を r_s [m]とすれば、流量 Q_s [L/min]は式 18 によって求めることができる。

【0052】

【数18】

$$Q_s = 60000 \pi r^2 V_s$$

【0053】

上記の計算は、マイクロコンピュータ7において実施され、流量測定結果は表示器8に表示される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の超音波式酸素濃度流量測定手段の構成を示す概略図。

【図2】

超音波受信波形の一例。

【図3】

ゼロクロス時間検出回路によるゼロクロス時間検出方法の例。

【図4】

温度と音速の関係。

【図5】

トリガ位置が揃っている場合の超音波伝播時間差とゼロクロス時間の間隔との関係。

【図6】

順方向に超音波送受信を実施して得られたトリガ位置に対し、逆方向に超音波送受信した場合に得られたトリガ位置が1周期分だけ前方であった場合の超音波伝播時間差とゼロクロス時間の間隔との関係。

【図7】

順方向に超音波送受信を実施して得られたトリガ位置に対し、逆方向に超音波送受信した場合に得られたトリガ位置が1周期分だけ後方であった場合の超音波伝播時間差とゼロクロス時間の間隔との関係。

【図8】

静止したサンプルガス中にて超音波送受信を行った際に得られるゼロクロス時

間を求める例。

【図 9】

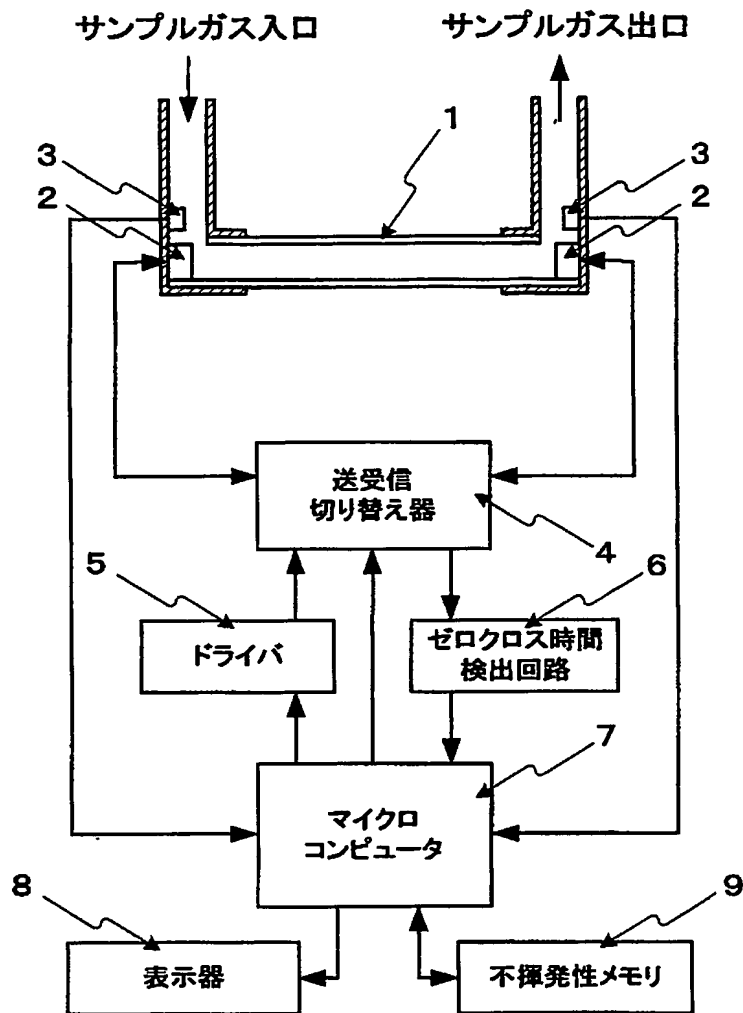
静止したサンプルガス中の超音波伝播時間を求める例。

【符号の説明】

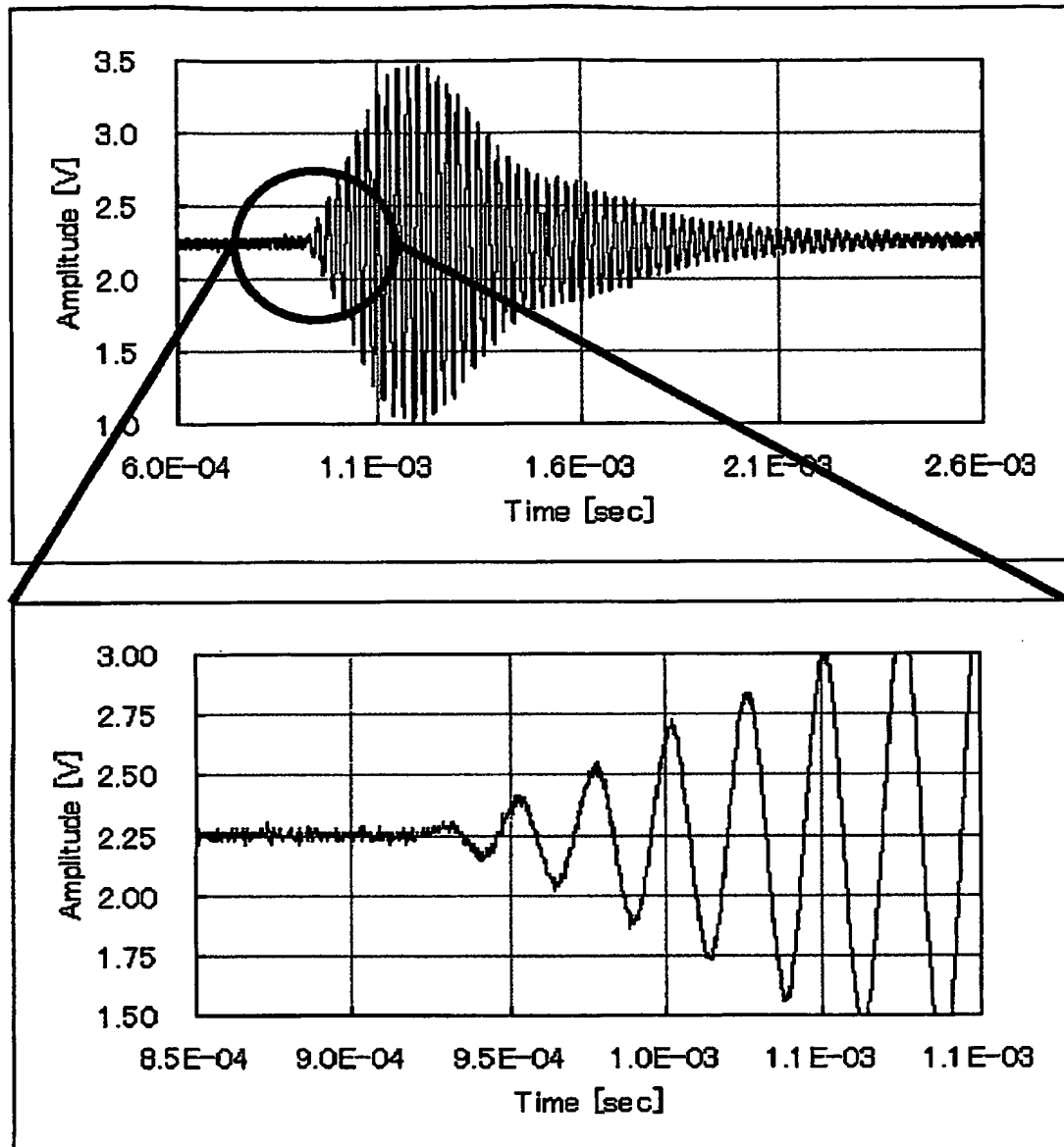
- 1 配管
- 2 超音波振動子
- 3 温度センサ
- 4 送受信切り替え器
- 5 ドライバ
- 6 ゼロクロス検出回路
- 7 マイクロコンピュータ
- 8 表示器
- 9 不揮発性メモリ

【書類名】 図面

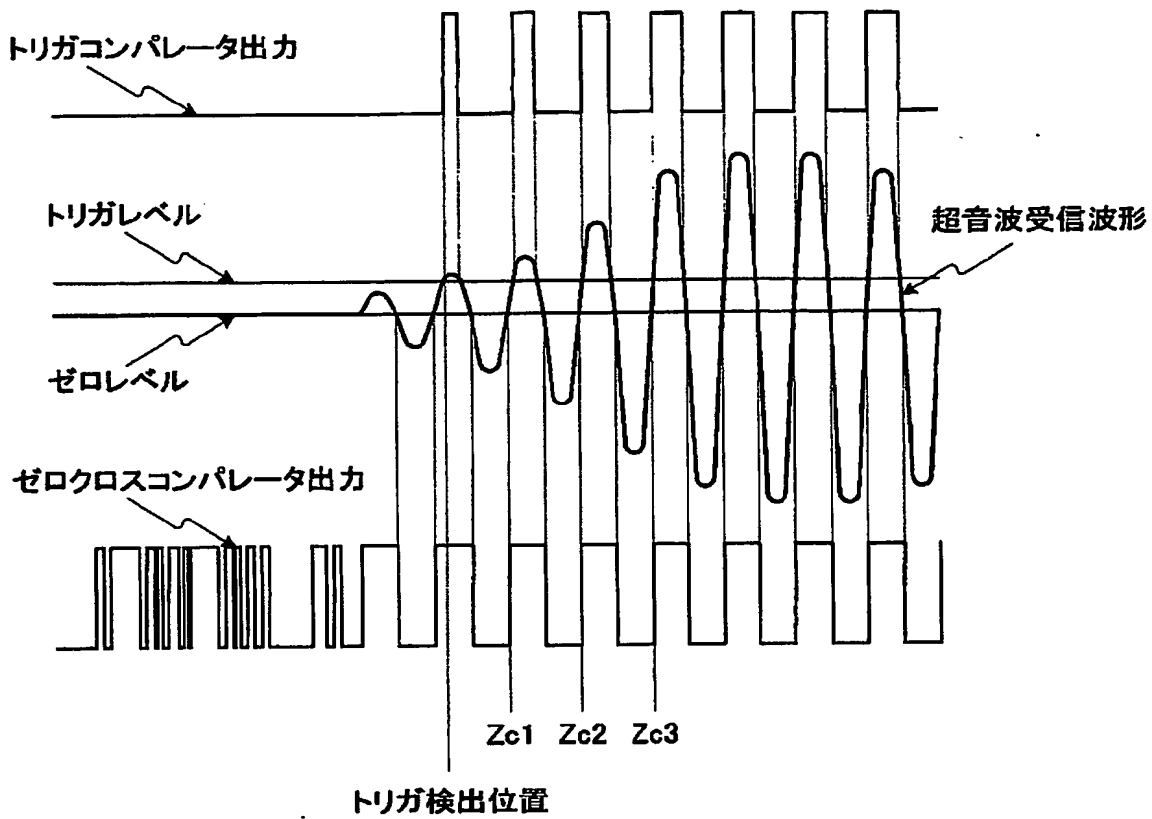
【図 1】



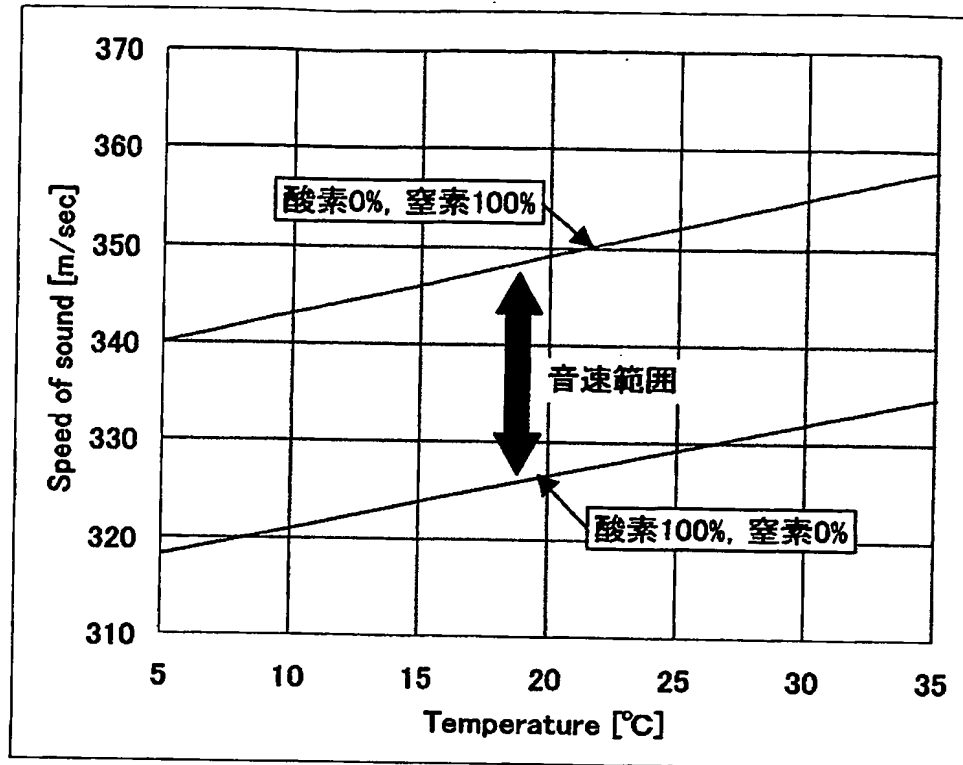
【図 2】



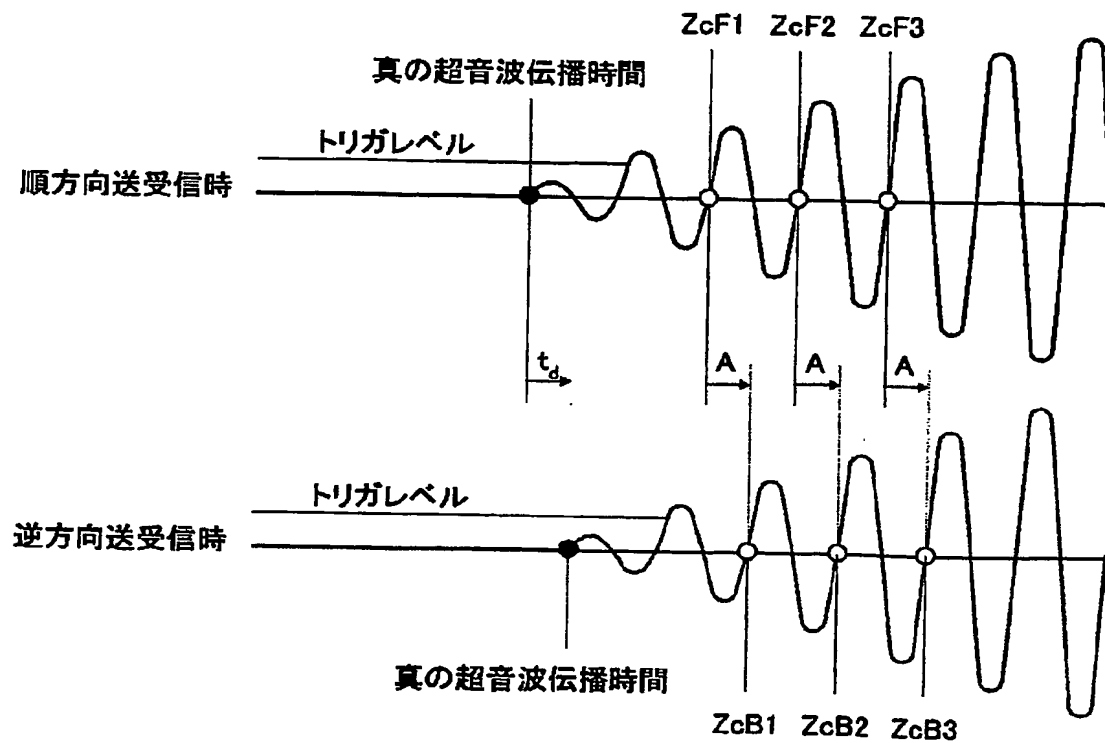
【図 3】



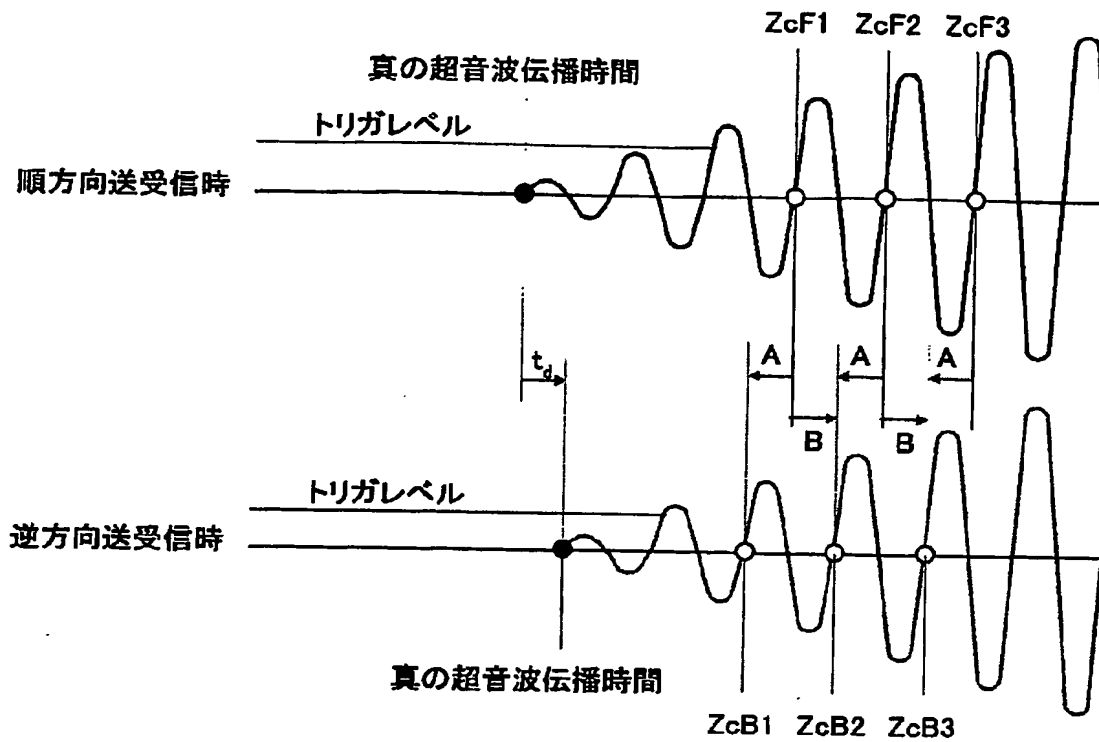
【図4】



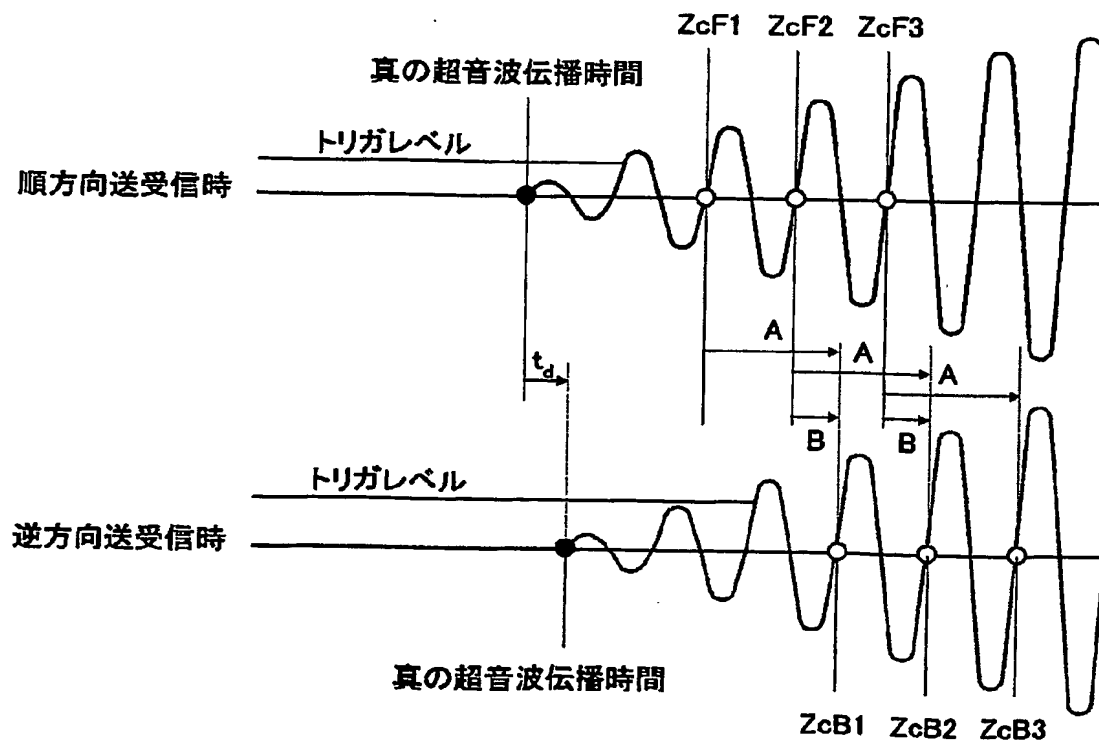
【図5】



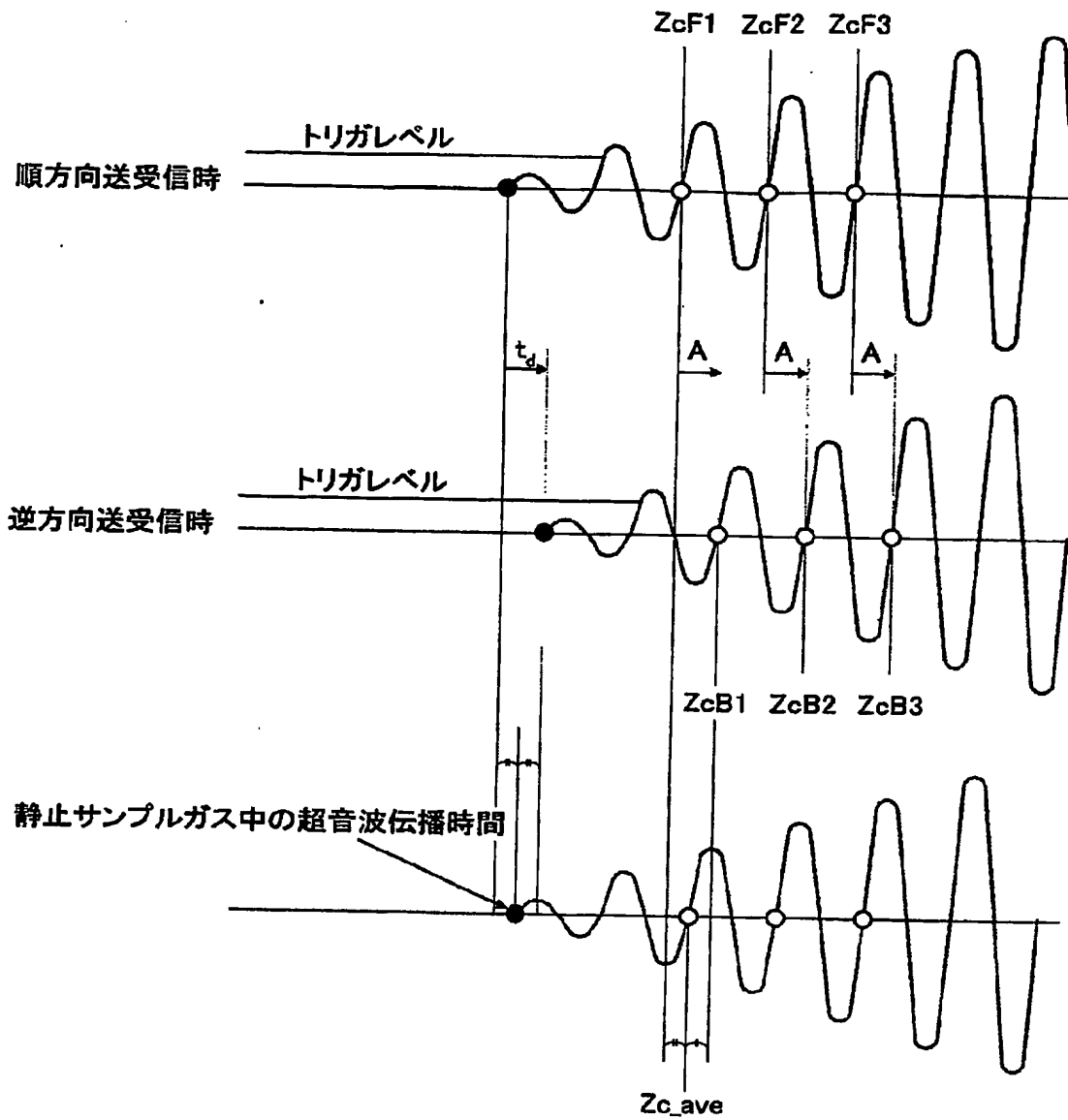
【図 6】



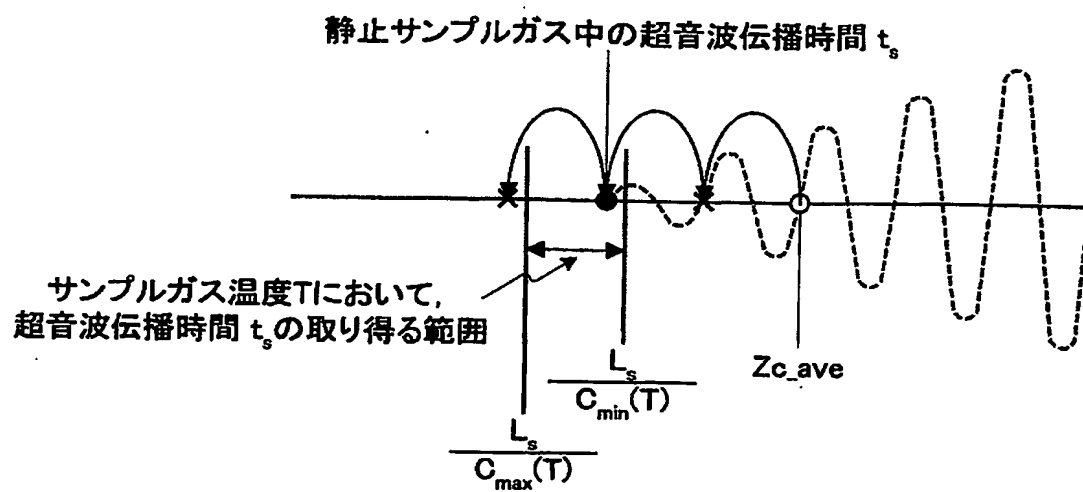
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複雑な信号処理やハードウェアを必要とせずに、サンプルガスの濃度および流量を測定する方法、および、必要最小限の部品のみを用いることで安価かつ小型の超音波式ガス濃度流量測定装置を提供する。

【解決手段】 サンプルガスの流れる配管中に、対向させて配置した超音波振動子2つ、受信超音波のゼロクロス時間検出回路、温度センサを具備する超音波式ガス濃度流量測定方法および装置において、サンプルガスの取り得る濃度範囲、および、温度範囲から、サンプルガス中を伝播する超音波の音速の取り得る範囲を事前に知ることによって好適な超音波振動子間距離を設定し、さらに、サンプルガスの取り得る流量範囲から好適な配管内半径を設定した構造であり、サンプルガス温度と連続した2つ以上のゼロクロス時間のみを検出し、受信超音波の波形情報を獲得することなく、静止サンプルガス中における超音波伝播時間、および、サンプルガスの流れに対し順逆双方向での超音波伝播時間の差を正確に検出でき、サンプルガスの濃度、および流量を測定することができる小型の超音波式ガス濃度流量測定装置。

【選択図】 なし

特願 2003-115333

出願人履歴情報

識別番号 [000003001]

1. 変更年月日	1990年 8月28日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区南本町1丁目6番7号
氏 名	帝人株式会社